

智能发电技术体系建设探讨与展望

张文建¹, 梁 庚², 梁 凌³, 崔青汝¹

(1. 国家能源投资集团有限责任公司, 北京 100034;

2. 华北电力大学控制与计算机工程学院, 北京 102206; 3. 国电新能源技术研究院有限公司, 北京 102209)

[摘 要] 智能发电技术体系建设是《中国制造 2025》国家发展战略的重要组成部分, 目前国内大型发电集团企业正在积极推进智能发电技术体系的建设。本文探讨了智能发电的基本体系、智能化的主要特征以及智能发电中所蕴含的重要概念和基本原理, 介绍了智能发电全生命周期管理体系和智能发电的信息安全问题, 并对智能发电技术体系在未来的建设进行了展望。认为全面信息化、标准化是智能发电未来建设的基础, 同时需要加强信息安全技术体系的建设、关键智能技术及装备的研发以及智能化评估等工作, 不断推进我国大型发电企业向更加清洁、高效、可靠的智能化电厂方向发展。

[关 键 词] 智能化; 智能发电; 数字化电厂; 信息安全; 信息化; 标准化; 网络化

[中图分类号] TM62; TP273 **[文献标识码]** A **[DOI 编号]** 10.19666/j.rlf.201902029

[引用本文格式] 张文建, 梁庚, 梁凌, 等. 智能发电技术体系建设探讨与展望[J]. 热力发电, 2019, 48(10): 1-7. ZHANG Wenjian, LIANG Geng, LIANG Ling, et al. Discussion and prospect of architecture construction for smart power generation technology[J]. Thermal Power Generation, 2019, 48(10): 1-7.

Discussion and prospect of architecture construction for smart power generation technology

ZHANG Wenjian¹, LIANG Geng², LIANG Ling³, CUI Qingru¹

(1. China Energy Investment Corporation Limited, Beijing 100034, China;

2. School of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

3. Guodian New Energy Technology Research Institute Co., Ltd., Beijing 102209, China)

Abstract: Construction of technology architecture for smart power generation (SPG) is one of the important components of national development strategy. The construction of technology architecture for smart power plant is actively facilitated by national key power generation corporations. This paper discusses the basic system of smart power generation, the main characteristics of intellectualization and the important concepts and basic principles contained in smart power generation, introduces the full-life time management system and information security problems of smart power generation, and looks forward to the future construction of smart power generation technology system. It is considered that comprehensive informationization and standardization are the foundation of future construction for smart power generation. Moreover, it is necessary to strengthen the construction of information security technology system, research and development of key smart technologies and equipments, and intelligent evaluation, so as to continuously promote the development of large-scale power generation enterprises in China towards the cleaner, more efficient and reliable direction.

Key words: intelligentization, smart power generation, digitalized power plant, information security, informationization, standardization, networked

2015 年, 中国国家发展战略《中国制造 2025》明确提出要“以加快新一代信息技术与制造业深度融合为主线, 以推进智能制造为主攻方向”, 智能

装备、智能制造和智能工厂所构建的信息物理系统正在引领生产的变革。借助计算机的高速信息处理能力和发达的网络通信能力来实现工业化和信息

收稿日期: 2019-02-12

第一作者简介: 张文建(1963), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统控制技术, wenjian.zhang@chnenergy.com.cn。

化的深度融合,加强生产的协同性,从而进一步提高大型企业集团的信息化管控水平,增强企业资源共享能力。作为工业生产的典型代表,电力生产在信息化和智能化方向上正在逐渐加快建设的步伐;而作为电力行业重要组成部分的火力发电建设面临着新的机遇与挑战。

1 智能发电基本体系及目标

智能发电是一个较为宽广的范畴,它是基于高性能计算机和高速通信网络,将电子信息技术、企业管理技术融合到电力生产中来。智能发电技术体系的支撑平台是物联网、云计算、大数据分析以及人工智能,其基本体系如图 1 所示。

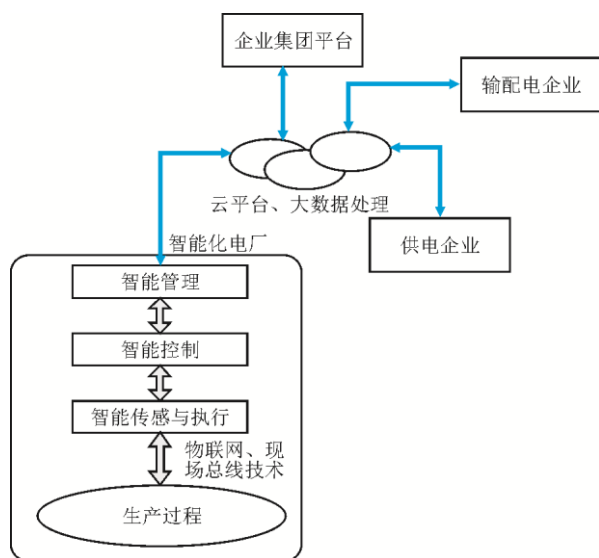


图 1 智能发电基本体系

Fig.1 The basic system of smart power generation

信息化、网络化是实现智能发电的前提。通过计算机的数字化处理,信号可以形成具备远程传输能力的数字形式;依托现代高速网络,数字化信息可以传送到生产相关的各个层次和环节。在智能发电体系中,智能化渗透到传感、执行、控制和管理各个层面,可以实现生产在更高程度上的细化、多样化和全面性,推进电力生产的安全性和环保性。

智能发电技术建设的基本目标是提高发电过程的智能化水平,实现发电厂的安全、清洁运行;通过将智能化技术引入集中监控系统,提高机组的自动化运行水平,其远景目标是实现发电过程的少人值守甚至无人干预。同时,通过数据挖掘技术,实现智能化的设备故障诊断和健康管理,提高设备可靠性和运行寿命。在发电机组及厂级性能改进方

面,通过优化控制、优化运行、功率预测和主动控制等手段来提高发电效率^[1]。

2 智能发电技术

2.1 智能化技术

智能发电技术的基础是智能化技术,是将智能化技术应用到发电过程中。从所依托的信息角度看,智能化技术具有细化和多样化的特点,能够准确而全面地描述对象和系统;从系统运行的角度看,智能化技术具有自学习、自适应、自趋优、自恢复、自组织的能力,能做到在现有信息基础上产生出更多的、新的信息。

智能发电实施的基础是发电过程信息的数字化和标准化。数字化使信息具备了高速、远程传输的条件,为信息的深度挖掘和再利用奠定了坚实的基础;标准化可以实现信息的复用性并提供更广泛的应用空间。信息的数字化、标准化与智能化的关系如图 2 所示。

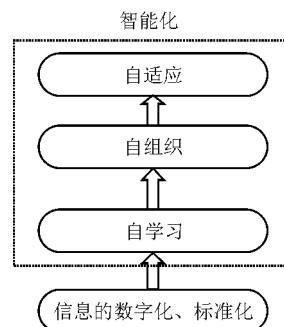


图 2 信息的数字化、标准化与智能化的关系

Fig.2 The relationship between and among digitalization, standardization and intellectualization of information

大数据技术、云计算技术和物联网是信息数字化、标准化的直接产物,进一步推动了信息在更广阔的范围和更深入的层次上的利用。在电厂生产管控系统的现场级、控制级和管理级,智能化技术都可以得到很好的应用。在现场级,智能传感采用数字化技术,可以传送更为丰富的现场级信息(如过程信息、设备信息等),为控制级的智能化实现提供更为丰富的数据;以这些丰富的数据为基础,对数据进行分类和利用后又可支持预测控制、神经网络控制、优化控制等智能控制算法在控制系统中的实施,从而实现了控制级的智能化;管理级综合现场级和控制级的原始数据和二次、三次等数据,做进一步的深度挖掘,产生对生产具有指导和决策作用的新数据。电厂生产管控系统的智能化如图 3 所示。

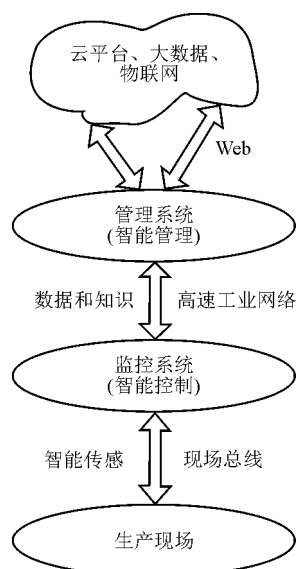


图 3 电厂生产管控系统智能化

Fig.3 The intelligence of production management and control system in power plant

2.2 智能化主要特征

智能化具有自适应、自学习、自组织等特征。自适应性体现为信息的随动性，即现有信息随着环境或设定点的变化而修改、变化，达到随设定点而

动的目的；自学习为自适应提供了更好的支持，一个具有强适应性的智能化本体通常具有较强的自学习能力，从而具备了知识的泛化能力；自组织使信息具有重组和迁移的能力，是实现寻优的重要手段和途径。智能化各要素之间的关系如图 4 所示。

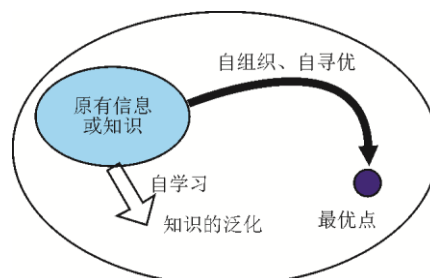


图 4 智能化各要素间关系

Fig.4 Relations between and among the intelligent elements

2.3 智能发电体系结构

一个全面智能化的发电系统可视作一个大闭环系统。通过闭环大系统各级信息的自学习、自组织、自适应、自调整，实现以核心点为纲、纲举目张的随动效果，实现生产的全面优化。智能发电体系结构如图 5 所示。

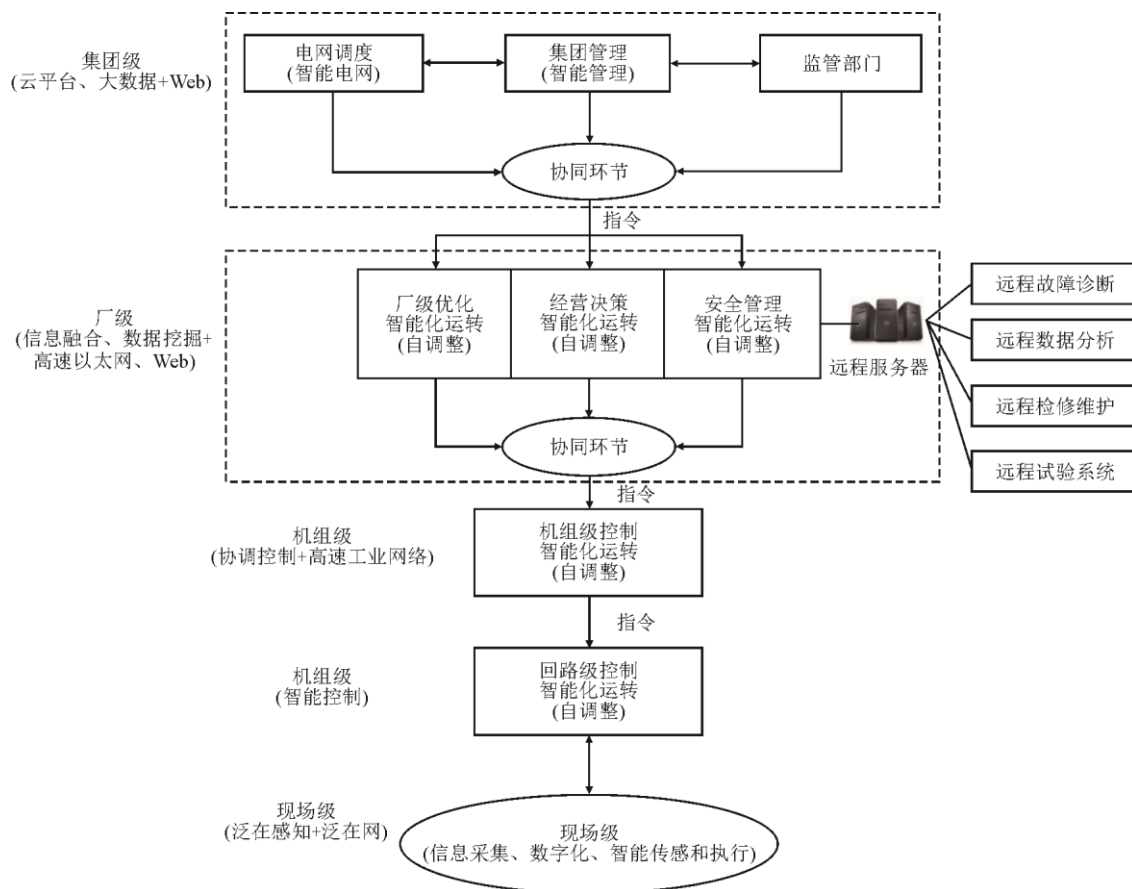


图 5 智能发电系统结构

Fig.5 The architecture of smart power generation

海量信息的获取与数据采集是智能化实现的基础。在智能发电的现场级, 泛在感知和泛在网发挥着重要的作用, 可采用泛在感知进行全面的获取, 将过程实时数据、操作记录、定位数据、视频信息及射频、红外、超声波等数据纳入监控范围。同时利用微波、激光、红外、静电、声波等先进测量技术, 实现发电过程参数的在线检测。通过先进的传感测量手段获取全面而精细的现场级数据, 包括生产和管理过程中环境、状态、位置等信息的全方位监测、识别和多维感知式的信息获取, 通过对原始数据进行二次处理, 为回路级的智能控制提供依据。现场级智能化还包括测量数据的数字化、就地控制网络化、设备状态可视化, 以及状态预报和评估、故障诊断和故障自愈等, 主要依托标准化的通信协议和通信接口技术^[2-4]实现。

机组级控制的智能化运转是基于生产控制系统和信息管理系统等提供的数据库资源, 利用模式识别、数据挖掘和机器学习等方法, 获得机组运行中的关键参数, 通过二次计算发掘参数的关联性和内在规律, 及时准确判断机组运行状态, 自动调整控制策略, 自动适应机组在各种工况下的运行需求, 并实现对机组运行方式、控制参数、效能指标和经营管理的持续优化。机组级控制的主要功能是控制策略的自动调整、全程自动和连锁控制, 包括自动开机/停机、负荷切换、网源协调、闭环优化和最优运行等。机组级的连锁保护功能主要用于全过程各工况条件下机组的自动投退、自适应选择控制策略等, 要求互操作接口完善、可靠, 时标精度高。机组级控制可支持远程信息接入, 实现基于互联网的远程联动控制。机组级的模拟量控制功能涵盖全过程各工况, 能自动进行控制状态评估和控制特性的优化, 其主要技术包括互操作接口技术、软件的二次开发、智能控制算法的开发应用、通信接口技术、仿真技术等^[5-6]。

厂级智能化是厂级管控的信息融合与数据挖掘, 其利用人工智能技术, 对生产过程中的海量数据进行分析与处理, 通过智能设备间的信息融合提高状态估计的准确性, 实现多源数据的深度利用, 产生出更具知识性的数据信息, 为生产的决策提供指导。厂级智能化还包括厂级负荷优化、控制参数在线优化、全局生产状态优化等功能, 以达到网源协调互动的效果。智能安全防护包括联动安防、报警与处理建议、网络入侵检测, 工作票评估等, 同

样依托泛在感知和信息融合技术, 实现集中监控指挥和自动安全检查。

2.4 全生命周期管理

智能化发电的另一个显著特色是数字化电厂的全生命周期管理, 它是指从数字化电厂的设计、建设、运行和管理全生命周期角度提出实施方案, 实现电厂设计数字化、建设管理数字化和生产运行数字化, 将电厂所有信号数字化、所有管理内容数字化, 利用先进的控制技术和信息技术, 实现电厂可靠而准确的控制和管理^[7]。在数字化电厂的全生命周期管理中, 其主要内容是建立电厂建设、生产运行过程等的数学模型, 运用各种在线分析工具, 优化、控制、指导生产运行和管理, 以提高生产的自动化程度、降低发电成本、减少污染物排放。智能发电全生命周期管理体系结构如图 6 所示。

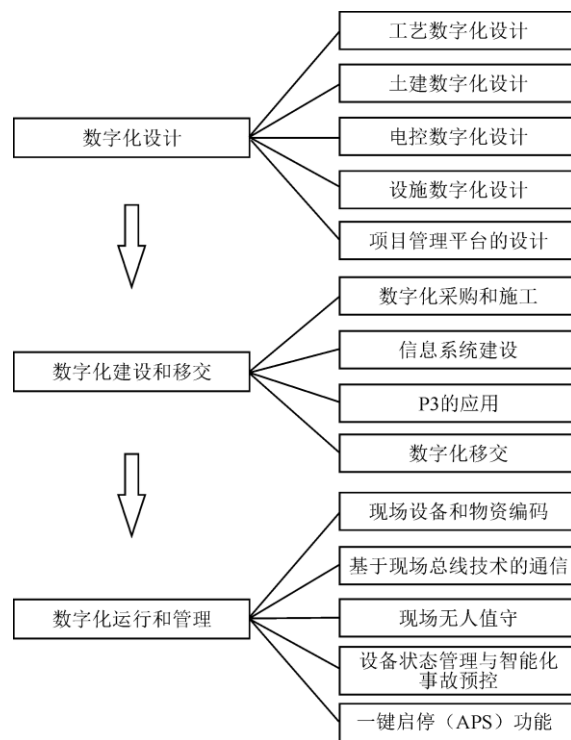


图 6 智能发电全生命周期管理体系结构
Fig.6 The architecture of the smart power generation life cycle management system

智能发电中的全生命周期管理是将设计过程中的三维模型、图纸和文档, 建设过程中产生的制造、安装和调试文档, 以及运营过程中产生的检修台账、资产管理及实时数据在同一平台上集成应用, 利用可视化技术和三维定位技术, 实现设备安装、运行和巡检过程中的三维仿真和实时互动, 逐步实现全生命周期的状态预测和管理^[8]。

数字化电厂以全生命周期管理为核心,从电厂设计、建设、运行、管理等角度全过程管控,实现设备智能化、设计数字化、建设一体化、技术先进化、管理人性化、综合效益最大化,代表了当今电厂管控一体化发展的最高水平,也是建设数字化电厂最主要的目的和优势^[3]。

3 智能发电信息安全

网络通信是智能发电实施的重要条件,而信息安全是网络通信技术中需要重点考虑的问题。在智能发电体系结构中包含智能传感与执行的现场级网络、回路和机组级的工业控制网络、厂级管控所依赖的高速以太网、集团管理级所涉及的广域网等几个不同级别的网络。传统的现场级网络通常采用现场总线技术,网络通信量不太大,主要是通信的可靠性问题,基本不存在信息安全的问题。智能发电中的现场级逐步引入了泛在网、物联网,与广域网络产生了密切的联系,从而产生了相应的信息安全问题。回路和机组级的工业控制网络采用专网或由商业以太网改造的工业以太网,通常与外网采取物理隔离的措施。包含远程服务器在内的厂级内网基于广域网与远程服务模块联系,信息安全防护十分重要。现场级泛在网、物联网与厂级内网采用防火墙技术与外网隔离,同时需部署入侵检测、安全审计、恶意代码防范、主机及网络设备加固等系统,以提升网络安全防护能力,保障工控系统的安全稳定运行。

智能发电信息安全防护通常采用虚拟局域网、生成树、访问控制列表、上网行为管理、入侵防护、网络准入等相关安全技术或设备,以满足等级保护对信息系统的网络安全、物理安全、主机安全、应用安全、数据安全等边界防护的要求。集团级的管理基于云计算和大数据,广域网为其提供基础的通信支持,可通过部署或建设统一身份认证、云安全管理、云平台运维审计、安全态势感知等系统来提高信息安全防护的能力。

从以上分析可以看出,智能发电的各个层次基本上都与广域网产生了密切的联系,因此在智能发电实施时应充分评估云计算、大数据、物联网等新技术引入智能发电建设后带来的安全隐患,并采取切实有效措施。

4 智能发电技术体系展望

在智能发电体系建设过程中,进一步提升体系

中的数字化、信息化、自动化水平应是未来体系建设发展的主要方向,同时逐步推进智能发电技术的标准化与规范化,则可为智能发电的建设提供有力的技术支撑^[9]。同时,智能化的发电运行和控制系统以及智能化的公共服务体系在很大程度上影响着智能发电体系建设的力度,也是智能发电未来建设的重点方向。

4.1 全面信息化、标准化

在现阶段,电厂生产过程的数据采集、传感和执行基本还是以过程相关的物理数据为主。因此,在未来智能发电的建设中,进一步提高物理过程相关数据采集的多样性和丰富程度,是提高系统智能化程度的重要途径。同时,可增加新的类型的信息,譬如可在过程数据的基础上增加与过程密切相关的管理信息,实现对发电厂生产和管理过程中环境、状态与位置等信息的全方位监测、识别和多维感知,提升泛在感知水平。此外,作为信息获取和传递的重要手段,需促进先进传感、测量手段与网络通信技术的融合,提高数据采集的时效性,保证信息利用的有效性。

从信息的利用角度出发,需进一步提高智能控制技术和先进控制技术的水平,推动智能控制和先进算法在发电生产中的实际应用,增强系统之间的互联互通与功能协同能力,进一步提高机组级生产的自动控制水平。在厂级层面,充分利用网络通信、数据挖掘和人工智能等技术,构建适用于发电厂智能控制与运行管理与决策的支撑系统^[10-12]。

为实现信息和数据的高效利用和深度挖掘,需进一步提高数据的存储、传输和交互能力,提高信息和数据的复用性和互操作性,可通过建立集团统一的数据编码标准,加强发电厂数据中心和主数据管理体系的建设,在传输通道方面,加快建设发电企业内部和企业间的数据链、数据流及业务流,有效实现数据共享、流程贯通及服务交互。在统一的技术架构、标准规范的基础上,覆盖电厂全生命周期各阶段的智能管控功能,以提高厂级层面的基于多点协同的发电智能化水平。

4.2 信息安全技术体系建设

在传统意义上,集团各发电企业、科技企业的建设重点是厂级管控及机组运行的相关技术。智能发电体系与传统的相对分立式的运行控制模式有较大区别,进一步突出了网络通信和信息安全的重要性^[13]。因此,各发电企业、科技企业的建设重点

应有所调整,提升信息安全建设和技术研发的力度,集团内部科技企业可逐步推进信息安全实验室的建设。

在信息安全技术体系的建设上,应按照国家信息安全等级保护的有关要求,以信息系统安全规范为指导,坚持“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证、综合防护”的基本设计原则,制定企业间信息传送安全防护的技术细则,建立基于主动防御的信息安全策略。

4.3 关键智能技术与装备研发

目前我国在机组级控制技术、分散控制系统的自主化研发和应用方面取得了显著的成绩。智能化发电为自主知识产权的高性能设备的研发提供了一个新的契机。随着智能化发电技术的逐步推进,控制系统设计、研发的侧重点应同步做出调整,可充分利用大集团、大部门的科技实力,加大在智能发电方面的研发投入,本着产、学、研、用结合的基本原则和研发思路,充分调动和利用各种资源,开发智能发电的关键技术与核心装备。在智能装备的深入研发方面,基于先进传感与物联网技术的新型检测装置、可穿戴智能设备的研发,以及基于人工智能、大数据等技术的具有完善智能化的 DCS 的研发、设备健康管理与状态检修系统的研发等均可作为重点推进的目标。在洁净发电技术方面,二次再热控制技术、灵活发电控制技术、污染物一体化控制技术,以及新能源领域研究多能互补及电网友好型发电控制技术也是智能发电技术研发的重要内容。

4.4 智能化评估

在智能化评估方面,可划分为 3 个评估级别。在基本级别上,要求能达到利用 3C 技术,实现全厂数字化采集、传输和存储,实现全厂范围内的生产过程自动化,生产数据与管理信息融合利用。在中等级别,要求利用云平台、大数据技术、物联网、移动计算等信息技术,实现泛在感知与智能融合;运营实现全流程优化,实现电厂的“无人干预,少人值守”。在高等级别上,要求能实现自寻优与进化计算,实现安全、经济、环保的最优化运营,以及发电企业经济效益与社会效益最大化。

4.5 标准体系建设

依托集团信息化规划建设,全面推进智能发电规范化和标准化的建设,包括制定系统性的、完善而开放的智能发电技术标准体系,制定和推广设备

及生产运行的相关标准等,在实施上应充分调动相关技术力量和各类社会力量,积极投入到行业组织的标准化制定工作中来,参与推动国家智能发电标准建设。

5 结 语

1) 随着网络技术、AI 技术、电子技术以及泛在网、物联网、智能控制、大数据、可视化和云计算技术的快速发展,我国大型发电企业正由以建设数字化物理载体为主的数字化电厂建设实施阶段,向更加清洁、高效、可靠的智能化电厂方向发展。

2) 国内大型发电集团企业正在积极推进智能发电技术体系的建设,建设智能电厂已成为行业的普遍共识,也是新能源电力技术建设和发展的主要方向和重要目标。

3) 智能发电技术体系的建设,需要进行顶层设计,从全面规划、建立标准入手,通过构建技术和管理层面的统一格局,做到理清概念、明确路径,因地制宜、循序渐进地实施和推进。

[参 考 文 献]

- [1] 华志刚,郭荣,汪勇. 燃煤智能发电的关键技术[J]. 中国电力, 2018, 51(10): 8-16.
HUA Zhigang, GUO Rong, WANG Yong. Key technologies for intelligent coal-fired power generation[J]. Electric Power, 2018, 51(10): 8-16.
- [2] 罗嘉,吴乐. 电站锅炉主要热工过程参数软测量技术研究进展[J]. 热力发电, 2015, 44(11): 1-9.
LUO Jia, WU Le. Research status of soft measurement technology of typical thermal parameters for utility boilers[J]. Thermal Power Generation, 2015, 44(11): 1-9.
- [3] 华志刚,胡光宇,吴志功,等. 基于先进控制技术的机组优化控制系统[J]. 中国电力, 2013, 46(6): 10-15.
HUA Zhigang, HU Guangyu, WU Zhigong, et al. Optimal control system based on advanced control technologies[J]. Electric Power, 2013, 46(6): 10-15.
- [4] 崔超超,张莹,沈东生,等. 火力发电厂现场总线技术调试难点分析与研究[J]. 中国电力, 2017, 50(12): 101-105.
CUI Chaochao, ZHANG Ying, SHEN Dongsheng, et al. Analysis and study on the difficulties in fieldbus commissioning in a thermal power plant[J]. Electric Power, 2017, 50(12): 101-105.
- [5] 火力发电厂智能化技术导则: T/CEC 164—2018[S]. 北京: 中国电力企业联合会, 2017: 12.
Intelligent technical guidelines for thermal power plants: T/CEC 164—2018[S]. Beijing: Group Standards of China Electric Power Enterprise Federation, 2017: 12.
- [6] 高海东,王春利,颜渝坪. 绿色智能发电概念探讨[J]. 热力发电, 2016, 45(2): 7-9.
GAO Haidong, WANG Chunli, YAN Yuping. Discussions on the concept of green intelligent power plant[J]. Thermal Power Generation, 2016, 45(2): 7-9.
- [7] 中国自动化学会发电自动化专业委员会, 中国自动化

- 学会发电自动化专业委员会. 智能电厂技术发展纲要[M]. 北京: 中国电力出版社, 2016: 112.
- China Society of Automation Generation Automation Professional Committee, China Society of Automation Generation Automation Professional Committee. Outline of intelligent power plant technology development[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2016: 112.
- [8] 姚建村, 王新平, 艾晨辉. 1 000 MW 超超临界数字化电厂全生命周期管理浅析[J]. 神华科技, 2016, 14(1): 58-61.
- YAO Jiancun, WANG Xinping, AI Chenhui. The analysis of 1 000 MW ultra-supercritical digital power plant life-cycle management[J]. Shenhua Science and Technology, 2016, 14(1): 58-61.
- [9] 葛志伟, 刘战礼, 周保中, 等. 火力发电厂数字化发展现状以及向智能化电厂转型分析[J]. 发电与空调, 2015(5): 45-47.
- GE Zhiwei, LIU Zhanli, ZHOU Baozhong, et al. Current situation of digitized coal-fired power plants and analysis of its transformation to the intelligent power plant[J]. Refrigeration Air Conditioning & Electric Power Machinery, 2015(5): 45-47.
- [10] 刘吉臻, 胡勇, 曾德良, 等. 智能发电厂的架构及特征[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(22): 6463-6470.
- LIU Jizhen, HU Yong, ZENG Deliang, et al. Architecture and feature of smart power generation[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(22): 6463-6470.
- [11] 崔青汝, 朱子凡. 智能发电运行控制技术[J/OL]. 热力发电, <https://doi.org/10.19666/j.rlfd.201812225>.
- CUI Qingru, ZHU Zifan. Overview of intelligent power generation operation control technology[J/OL]. Thermal Power Generation, <https://doi.org/10.19666/j.rlfd.201812225>.
- [12] 辛斌, 陈杰, 彭志红. 智能优化控制: 概述与展望[J]. 自动化学报, 2013, 39(11): 1831-1848.
- XIN Bin, CHEN Jie, PENG Zhihong. Intelligent optimized control: overview and prospect[J]. Acta Automatica Sinica, 2013, 39(11): 1831-1848.
- [13] 袁捷, 张民磊. 基于 DCS 系统的信息安全自动化控制设计与研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2018(7): 109-112.
- YUAN Jie, ZHANG Minlei. Design and research of information security automatic control based on DCS system[J]. Automation & Instrumentation, 2018(7): 109-112.

(责任编辑 马昕红)

《热力发电》论文入选中国科协 优秀科技论文

2019 年 9 月 20 日, 中国科协发布《中国科协办公厅关于公布第四届优秀科技论文遴选计划入选论文的通知》, 陈渝楠、张一帆、刘文娟等发表于《热力发电》2017 年第 2 期的论文《超临界二氧化碳火力发电系统模拟研究》入选。

中国科协组织开展的第四届优秀科技论文遴选计划, 经专家推荐、初评遴选、终评审定以及公示等程序, 确定了 98 篇入选论文, 陕西省科技期刊《热力发电》《中国公路学报》发表的两篇论文入选。这些论文是 2015 年以来发表在我国科技期刊上的优秀论文的代表, 它们或在基础研究领域对所在学科发展有重大影响或能够开拓和引领学科发展; 或在应用研究领域具有巨大应用价值、能够引导所在学科工程与技术发展; 或反映某分支学科的历史背景、研究现状、发展趋势, 具有较高的学科价值。